Vol.13, No.4, Winter 2024, pp.130-158

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.88423.1493 Open access

The Relationship Between Quantitative and Qualitative Networks of Groundwater with the Characteristics of Alluvial fan in The Southern Hillside of Alborz center (Karaj to Takestan)

Ali Rajabi Eslami[a], Manijeh Ghahroudi Tali[b*], Alireza Salehipour Milani[c]

[a] *PhD student in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Tehran Shahid Beheshti University, Tehran,Iran.*
[b] *Professor in Geomorphology Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Tehran, Shahid Beheshti University, Tehran,Iran.*
[c] *Assistant Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Tehran, Shahid Beheshti University, Tehran,Iran.*

Received: 9 June 2024 ***Revised: 1 September 2024*** ***Accepted: 3 October 2024***

Extended Abstract

Introduction

Groundwater is considered one of the most important indicators of environmental development, and land planners pay great attention to identifying the quantitative and qualitative status of these resources. In general, the sustainable management of groundwater resources during crises can reduce the effects of drought and water shortages. This issue is particularly significant in the central plains of Iran, where water scarcity and low rainfall are prevalent. Therefore, to manage these resources effectively, it is crucial to identify the factors that influence them. In recent years, increased attention has been paid to landforms and environmental indicators as parameters affecting the permeability and variability of groundwater. Over the past decade, there has been a notable increase in studies and articles in this field.

Among the key landforms in the geomorphology of arid and semi-arid regions of Iran are alluvial fans. Due to their unique structure, these fans provide an ideal environment for groundwater storage. This research focuses on the southern slopes of the central Alborz mountains to develop a model based on geomorphic parameters for assessing the quantitative and qualitative potential

* .Corresponding author: Manijeh Ghahroudi Tali Email: E-mail: m-ghahroudi@sbu.ac.ir Tel:+989121263968

How to cite this Article: Rajabi Eslami, A. , Ghahroudi Tali, M. , & Salehipour, A. (2024). The Relationship Between Quantitative and Qualitative Networks of Groundwater with the Characteristics of Alluvial fan in The Southern Hillside of Alborz center (Karaj to Takestan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4),130-158

of groundwater. The findings of this study present innovative approaches to utilizing landforms in identifying areas with suitable groundwater potential.

Material and Methods

The alluvial fans located in the southern slopes of the central Alborz hills cover a significant part of the western plains of Tehran Province, as well as the southern plains of Alborz and Qazvin provinces. The total area of this region is 7,450 square kilometers, and it is part of the sub-basins of the Salt Lake system.

In this research, the morphometric characteristics of 23 alluvial fans in the southern plains of central Alborz were analyzed using correlational research and ex-post facto methods. With a practical approach, the boundaries of the alluvial fans were delineated using satellite images and topographic maps. Eleven morphometric parameters, including sweep angle, area, volume, concavity, slope, apex and base height, length, base length, radius, and height difference of the alluvial fans, were extracted.

Additionally, the relationships between water table depth, well discharge, and electrical conductivity (EC) of groundwater with morphometric parameters were evaluated using statistical analysis of 587 water wells.

Results and Discussion

The results showed that changes in discharge, EC, and water table depth were influenced by the morphometry of the alluvial fans, with contributions of 63%, 27%, and 54%, respectively. Furthermore, the results revealed that among the 11 morphometric parameters, increases in the average values of four parameters—area, cone length, base length, and radius of the alluvial fan—led to higher groundwater extraction potential. Conversely, decreases in apex height, sweep angle, and base height corresponded to increases in flow rates.

The findings indicated that in alluvial fans where the apex and base elevations are higher than others, the water table is lower relative to ground level due to increased sedimentation and sediment thickness. Moreover, the depth of the water table increases with the enlargement of the area, length, base length, and radius of the alluvial fans. Alluvial fans with large, circular, fan-shaped structures exhibited higher levels of groundwater stagnation.

Conclusion

Reducing concavity or sediment diameter on the surface of alluvial fans can effectively decrease soil refinement during water infiltration. This study highlights that examining geomorphic landforms prior to implementing water resource management plans can The analysis of groundwater electrical conductivity (EC) demonstrated that EC values increased in alluvial fans with high sediment volume and low concavity.significantly reduce errors in selecting locations for aquifer recharge or groundwater well excavation. This research, through its innovative approach and robust statistical analysis, has introduced a new model to evaluate the role of alluvial fans in the quantitative and qualitative changes in groundwater. The findings offer an efficient and effective framework for identifying groundwater table potentials, providing valuable insights for sustainable water resource management.

Keywords:Groundwater Resources, Alluvial Fan Morphometry, Geomorphic Indicators, Sustainable Groundwater Management, Central Alborz Groundwater Dynamics

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۱۵۸-۱۳۰

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی
DOI: 10.22067/geoeh.2024.88423.1493
دسترسی آزاد

ارتباط پارامترهای کمّی و کیفی آب‌های زیرزمینی با ویژگی‌های مخروط افکنه‌های دشت‌های جنوبی البرز مرکزی (کرج تا تاکستان)

علی رجبی اسلامی- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

منیژه قهرودی تالی[1]- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

علیرضا صالحی پور میلانی- استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۳/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۱۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۷/۱۲

چکیده

آب زیرزمینی به‌عنوان جزئی از یک سیستم تعاملی با سطح زمین در قلمرو تأثیرپذیری ژئومورفولوژی قرار دارد و به میزان زیادی تحت تأثیر و کنترل لند فرمها و فرآیندها است و می‌تواند بر میزان کمیت و کیفیت آب زیرزمینی اثر بگذارد. یکی از لند فرمهای مهم ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مخروط افکنه‌هاست که محیط بسیار مناسبی را برای ذخیره‌سازی آب زیرزمینی فراهم می‌آورد. در این پژوهش سعی شده به تحلیل ارتباط تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی با ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها در دشت‌های جنوبی البرز مرکزی پرداخته شود، تا از این طریق بتوان روشی مناسب و مبتنی بر پارامترهای ژئومورفیک را برای پتانسیل‌یابی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی ارائه داد. بر این اساس به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی ابتدا مرز ۲۳ مخروط افکنه ترسیم و ۱۱ پارامتر مورفومتری شامل زاویه جاروب، مساحت، حجم، تقعر، شیب، ارتفاع رأس و قاعده، طول، طول قاعده، شعاع و اختلاف ارتفاع مخروط افکنه استخراج گردید. همچنین ارتباط عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با پارامترهای مورفومتری در 587 حلقه چاه آب با استفاده از تحلیل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات دبی، هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی به ترتیب با میزان ۶۳٪، ۲۷ ٪ و ۵۴٪ تحت تأثیر مورفومتری مخروط افکنه‌ها قرار دارد. با افزایش میزان مساحت، طول، شعاع و طول قاعده مخروط افکنه‌ها میزان دبی آب چاه‌ها افزایش پیدا می‌کند و با افزایش حجم و تقعر میزان هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش نشان داد ویژگی مخروط افکنه‌ها می‌تواند به‌عنوان روشی در ارزیابی تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک مورداستفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: منابع آب زیرزمینی ریخت‌سنجی مخروط افکنه ، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی ، دینامیک آب زیرزمینی البرز مرکزی.

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۲۶۳۹۶۸ Email: m-ghahroudi@sbu.ac.ir

۱-مقدمه

کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر از کشورهای کم آب در جهان محسوب می‌شود (Asadi & Abd Manafi, 2022). این گستره بزرگ جغرافیایی با مشخصات هیدرولوژیکی خاص نظیر ۱۱۷ میلیارد مترمکعب حجم آب قابل‌دسترس، بر اساس آمارهای وزارت نیرو سالانه ۹۸.۱ میلیارد مترمکعب آب تجدید پذیر در کشور توزیع می‌شود که ۴۴.۳ میلیارد مترمکعب آن از منابع سطحی برداشت می‌شود و ۵۳.۹ میلیارد مترمکعب از منابع سفره‌های زیرزمینی برداشته می‌شود که از این میزان ۵۰.۵ میلیارد مترمکعب از چاه‌ها و ۳.۴ میلیارد مترمکعب از قنوات است Mehr News (Agency, 2022). به‌طورکلی منابع آب زیرزمینی در صورت حفاظت از آن‌ها به‌عنوان منابعی استراتژیک که در مواقع بحرانی می‌توانند آثار خشک‌سالی یا کم‌آبی را تقلیل دهند از اهمیت بسزایی برخوردارند و این وابستگی در بخش وسیعی از دشت‌های مرکزی ایران به دلیل نازل بودن بارش‌ها بیشتر است (Asadi & Abd Manafi, 2022) بنابراین توجه ویژه به مدیریت استراتژی و شناسایی پتانسیل‌های منابع آب زیرزمینی در برنامه‌های توسعه کشور امری مهم و اجتناب‌ناپذیر است. به‌طورکلی روش‌های سنتی نظیر ژئوالکتریک که در جهت شناخت پتانسیل آب‌های زیرزمینی به کار گرفته می‌شوند، اغلب زمان‌بر بوده و به نیروی انسانی و هزینه کرد زیاد نیاز دارد (Adabi khosh, 2019). در اینجا باید اشاره نمود که آبخوان‌ها به دلیل تعامل مستقیم و غیرمستقیم با سطح زمین در محدوده تأثیرپذیری لند فرم‌های ژئومورفولوژی قرار داشته و به‌وسیله آن کنترل می‌شود (این کنترل توسط تغییرهای بسیاری صورت گرفته که عبارت‌اند توپوگرافی و فرم، ویژگی مواد سطحی یا مورفوژنز، تغییرات آب و هوایی و هوازدگی‌ها، تغییرات زمانی (Zektser & Everett, 2004) بر این اساس می‌توان گفت توجه و تأکید بر ویژگی لندفرم‌ها و شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان یک شاخص یا نمایانگر (Ravindran & Jeyaram, 1997) علاوه بر اینکه در مقایسه با روش‌های معمول اکتشاف آب زیرزمینی نقش واحدهای ژئومورفیک را در قالب یک پارامتر بسیار مهم در کنترل پتانسیل آب‌های زیرزمینی نادیده نمی‌گیرد بلکه ازنظر دقت عملیاتی،مسائل مالی و زمان انجام کار بسیار مقرون‌به‌صرفه و سریع است (Khalili Naftchali & Khashai, 2016) ازاین‌رو برای شناسایی لند فرم‌های مؤثر بر آب زیرزمینی می‌توان از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری استفاده نمود (Agarwal, Agarwal, Garg & Garg, 2013). مخروط افکنه‌ها یکی از لند فرم‌های مهم واصلی مناطق دشتی می‌باشند (Ghahraman, Zanganeh Asadi & Akbari, 2022) که برحسب نوع ساختار و ویژگی‌های خود، محیط بسیار مناسبی را برای نگهداشت آب زیرزمینی در اختیار نواحی کم آب قرار می‌دهد (Ravindran & Jeyaram, 1997). با توجه به اینکه اقلیم ایران اساساً خشک و نیمه‌خشک است و جریان‌ها و سیلاب‌های فصلی زیادی دارد، بخش وسیعی از مخروط افکنه‌ها از رسوبات درشت‌دانه تشکیل‌شده‌اند که توان بالایی در ذخیره و نگهداشت آب زیرزمینی دارند.

به‌طورکلی مخروط افکنه‌ها به‌عنوان یک لند فرم مهم در مناطق دشتی از دهانه‌ی رودخانه‌های خروجی از کوهستان شروع‌شده و تا نواحی پست دشت ادامه دارند (Blair & McPherson, 2009). این لندفرم‌ها یکی از مکان‌های مناسب برای حفر چاه‌های آب بوده که به دلیل ساختار رسوبی مناسب منابع و ذخایر قابل‌توجهی در آن‌ها تشکیل می‌شوند (Sedghi & Samani, 2015). در سال‌های اخیر نقش عوارض طبیعی و لند فرم‌ها در اکتشاف و مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یک روش بهینه و کارآمد موردتوجه بسیاری از محققین داخلی قرارگرفته است (Rajabi Eslami, Ghahroudi Tali & Salehipour Milani, 2024)، که در اینجا به‌تفصیل برخی مطالعات صورت گرفته در ایران و جهان بیان شده است. هاتفی اردکانی و اختصاصی (Hatefi Ardakani & Ekhtesasi, 2016) در مقاله خود به بررسی پتانسیل آب زیرزمینی از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که آبرفت‌های کواترنر متشکل از تراس‌ها و مخروط افکنه‌های کم ارتفاع جدید از مناطق بالقوه مناسب آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند. علایی طالقانی و همکاران (Alaei Taleghani, Shafiei & Rajabi, 2018) در پژوهش خود با روش استنباطی و تحلیلی وزنی- تجربی به تأثیر عوامل ژئومورفولوژی بر تغذیه‌ی منابع آب زیرزمینی دشت میاندره کرمانشاه پرداختند و این نتیجه رسیدند که به ترتیب دشت سیلابی و مخروط افکنه، رسوبات دامنه‌ای و سپس ارتفاعات در ذخیره منابع آب زیرزمینی بیشترین نقش را داشته و کمترین نقش مربوط به اراضی بدلندی است. افشاری و همکاران (Afshari, Ghohroudi Tali, Sadough & Ehteshami Moin Abadi, 2019) نقش شاخص‌های ژئومورفولوژیکی نظیر شاخص شیب طول رودخانه، شاخص شکل حوضه، شاخص عدم تقارن حوزه زهکشی را در شناسایی پتانسیل مخاطرات موردبررسی قراردادند. نتایج نشان داد که بامطالعه مورفومتری حوضه می‌توان شدت مخاطرات را به ۳ رده فعالیت طبقه‌بندی نمود. همچنین وادی و همکاران (Wadi, Wu, Malik, Fuad & Thaw, 2022) به شناسایی پتانسیل بالقوه آب زیرزمینی در مناطق سنگی و نیم خشک بیتیرا سودان پرداختند.

مخروط افکنه‌ها با ابعاد کوچک تا بسیار بزرگ در تمامی بخش‌های دشت‌های جنوبی البرز مرکزی موجود بوده و همگی در پایین‌دست حوضه‌های سیل‌خیز و بالادست دشت‌های انتهایی قرار دارند دشت‌های جنوبی البرز مرکزی در مجاورت شهرهای بزرگ نظیر تهران، کرج و قزوین قرار دارد و به همین دلیل از مناطق بسیار پرجمعیت کشور بوده که ۱۰ درصد از صنایع آب‌بر و همچنین زمین‌های کشاورزی وسیعی را در خود جای‌داده است (Mehr News Agency, 2022). به‌گونه‌ای که فقط بخش کشاورزی در استان قزوین دارای ۸۰ هزار بهره‌بردار بوده و ۱۳ درصد تولید ناخالص استان مربوط به این حوزه است؛ بنابراین اهمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در این منطقه انکارناپذیر است. این مناطق به دلیل ضخامت زیاد رسوبات کواترنری حاصل از مخروط افکنه‌های جدید و قدیمی، تغذیه ضعیف از بستر رودخانه‌ها (به دلیل فصلی بودن رودها)

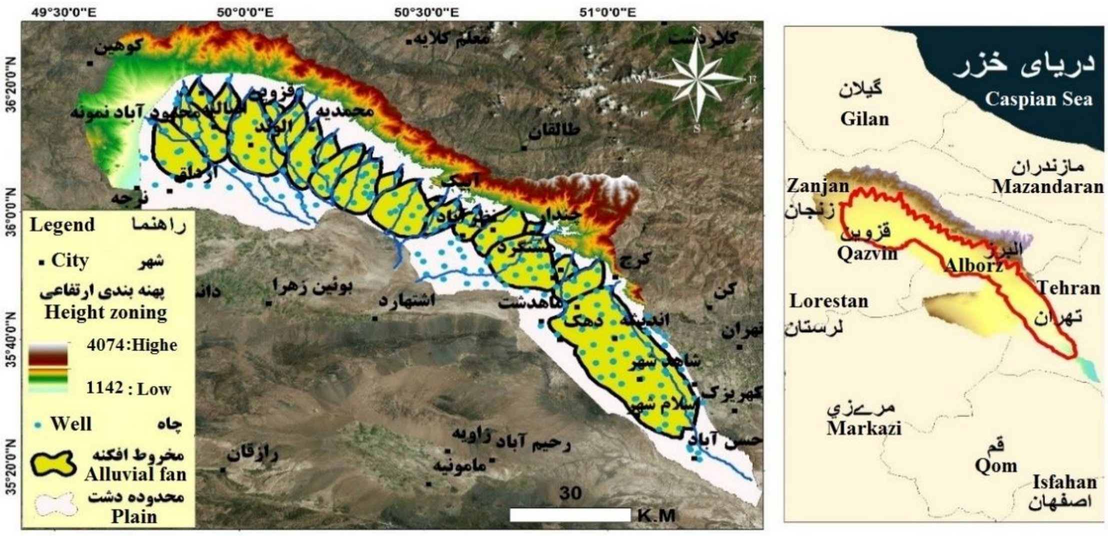
و بارندگی بسیار کم ازنظر کمیت آب زیرزمینی در وضعیت نامطلوب قرار دارد و این امر با افزایش عواملی نظیر افزایش سکونت‌گاه‌های انسانی، صنعتی و همچنین عدم شناخت لندفرم‌های مؤثر در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی به‌خصوص در نواحی پرجمعیت شهری سبب ناپایداری منابع آب زیرزمینی گردیده و نیازمند مدیریت و پتانسیل‌یابی مناسب است (Rajabi Eslami, 2018). روش این تحقیق مبتنی بر تجزیه‌وتحلیل داده‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هواشناسی و بافت خاک است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش سبب شناسایی یک منطقه بالقوه جهت احداث سد برای تغذیه سفره آب زیرزمینی جدید در منطقه گردید (Wadi et al., 2022) در پژوهشی مشابه الروزق و همکاران به پهنه‌بندی مناطق بالقوه آب زیرزمینی بر اساس معیارهای ژئوهیدرولیکی در شمال امارات متحده عربی پرداختند(Al-Ruzouq et al., 2019). هدف این پژوهش ارزیابی پارامترهای مورفولوژی مخروط افکنه‌ها بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی آب‌های زیرزمینی است تا با استفاده از یافته‌های این تحقیق رویکردی جدید در استفاده از لند فرم در شناسایی مناطق با پتانسیل مناسب ارائه نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه موردمطالعه

مخروط افکنه‌های موجود در دشت‌های جنوبی البرز مرکزی شامل بخش وسیعی از دشت‌های غربی استان تهران و دشت‌های جنوبی استان البرز و قزوین است که در محدوده جغرافیایی ′۳۰°۵۰ تا ′۲۰°۵۱ طول شرقی و′۲۰°۳۵ تا ′۳۰°۳۶ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). وسعت این منطقه ۷۴۵۰ کیلومترمربع بوده و ازنظر تقسیمات وزارت نیرو از زیر حوضه‌های دریاچه نمک محسوب می‌شود (Rajabi Eslami, 2018)، این منطقه از شمال به رشته‌کوه البرز مرکزی محدودشده است و در جنوب به کوه‌های ایران مرکزی می‌رسد. قسمت اعظمی از حوضه به‌صورت چاله است. این چاله با شکافی که در طاقدیس جنوبی آن بانام ارتفاعات حلقه در وجود دارد به چاله مجاور شهر اشتهارد راه پیدا می‌کند و کف چاله از رسوبات رسی و تبخیری شور پوشیده شده است و سطح ایستابی در این منطقه بسیار بالا است. ارتفاع متوسط حوضه ۱۶۰۰ متر، و ماکزیمم ارتفاع در کوه‌های شمالی در حدود ۴۰۰۰ متر و کمترین ارتفاع در خروجی حوضه در حدود ۱۰۰۰ متر است (Nayebzadeh, Madadi & Azizi, 2018). بر اساس داده‌های آماری ایستگاه‌های سینوپتیک ۴ ایستگاه اصلی تهران، قزوین، کرج و هشتگرد و اقلیم نمای آمبرژه، نوع اقلیم منطقه مطالعاتی در محدوده مناطق اقلیم خشک قرار دارد (Iran Meteorological Organization, 2023). این مناطق ازنظر حاکمیت فرایندهای ژئومورفیک، تحت تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناختی البرز جنوبی بوده و گستره وسیعی از این مناطق را مخروط افکنه‌ها کواترنری با نهشته‌های ناپیوسته و درشت‌دانه (در حد قلوه‌سنگ تا سیلت) تشکیل داده است. در دوره

کواترنری فرسایش آبی باعث ایجاد آبرفت‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی متعدد گردیده که همین امر سبب شده تا لند فرم‌های غالب را مخروط افکنه‌ها، آبرفت‌ها و دشت‌های سیلابی تشکیل بدهد (Ghahroudi Tali, Khodamoradi & Ali Nouri, 2023). همچنین اکثر رودخانه‌های محدوده مطالعاتی به‌صورت فصلی بوده و از مهم‌ترین رودخانه‌های موجود در این منطقه می‌توان به رودهای کرج، قزوین، کردان، زیاران، رودخانه هشتگرد و ... اشاره نمود با توجه به این‌که در محدوده حوضه آبریز تهران-کرج، مناطق مسکونی و صنعتی بسیاری وجود دارد، پایین بودن میزان بارش مفید و افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر سبب مشکلات متعددی گردیده که نیازمند مدیریت و پتانسیل‌یابی مناسب آب زیرزمینی در این نواحی است (Khamis Abadi, Manshori, Sayadi & Salari, 2012)



شکل ۱- محدوده مطالعاتی و مخروط افکنه‌های دشت‌های جنوبی البرز مرکزی

Fig.**1**. Study area and alluvial fans of The Southern slopes of central Alborz

۲-۲ -روش انجام پژوهش

با توجه به این‌که هدف اصلی این پژوهش ارتباط ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها با پارامترهای آب زیرزمینی و تعیین شناسایی پتانسیل مناسب این منابع است، بنابراین نوع روش استفاده‌شده در این تحقیق با توجه به هدف از نوع کاربردی است. همچنین بر مبنای نحوه گردآوری اطلاعات نوع روش تعیین‌شده در این مقاله به‌صورت توصیفی و غیر آزمایشگاهی است. با توجه به این‌که روش‌های توصیفی از انواع مختلفی برخوردار است و در این پژوهش نیز رابطه میان متغیرها به‌صورت مقایسه‌ای و برحسب هدف پژوهش تحلیل‌شده است، لذا نوع روش استفاده‌شده به‌صورت توصیفی همبستگی[۱] و توصیفی مقایسه‌ای (پس رویدادی)[۲] است؛

[1] Correlational Research

بنابراین به جهت تهیه اطلاعات موردنیاز عمق سطح ایستابی، انحراف معیار تغییرات زمانی سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی ۵۸۷ حلقه چاه شرب، کشاورزی و شهری از سازمان منابع آب کشور برحسب آخرین دوره آماربرداری سرسری چاه‌های آب ایران (دور دوم) از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ تهیه شد. درواقع دبی آب قابل‌برداشت چاه‌ها به همراه عمق سطح ایستابی دو پارامتر مهم در شناسایی پتانسیل بهره‌برداری آب زیرزمینی می‌باشند (Yari, Soltani-Gerdefaramarzi & Ghasemi, 2019). همچنین هدایت الکتریکی به‌عنوان یک شاخص مهم در تعیین میزان غلطت پارامترهای کیفی و املاح و یون‌های آب در تشخیص کلی کیفیت آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. بعد از ترسیم محدوده مخروط افکنه‌ها، میانگین عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه‌ها و هدایت الکتریکی در هر محدوده تفکیک و به‌وسیله متد درون‌یابی کریجینگ[1] پهنه‌بندی و محاسبه گردید (شکل ۲). سپس مرز ۲۳ مخروط افکنه برحسب تغییرات منحنی‌های میزان و انطباق آن با شکستگی‌های نیمرخ ارتفاعی در محدوده رسوب‌گذاری هر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۸ و نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی در نرم‌افزار Arc Gis 10.5 ترسیم گردید. برای ارزیابی میزان اثرگذاری مخروط افکنه‌ها بر آب‌های زیرزمینی از پارامترهای مورفومتری ذیل استفاده شد که شامل: مساحت مخروط افکنه به کیلومتر، شعاع مخروط به متر، زاویه جاروب (رابطه ۱)، ارتفاع رأس مخروط افکنه به متر، ارتفاع قاعده مخروط افکنه به متر، میزان ناهمواری مخروط (اختلاف ارتفاع قاعده از رأس مخروط افکنه) طول مخروط به متر، شیب مخروط افکنه به درجه، تقعر مخروط افکنه (شعاع مخروط / ضلع H)، طول قاعده مخروط به متر و حجم مخروط افکنه. همچنین به‌منظور استخراج حجم مخروط (v) از رابطه ۲ استفاده‌شده است که پارامترهای آن عبارت‌اند از R^2: شعاع مخروط به متر، H: اختلاف ارتفاع رأس و قاعده مخروط به متر، S:زاویه جاروب مخروط افکنه π معادل ۳/۱۴

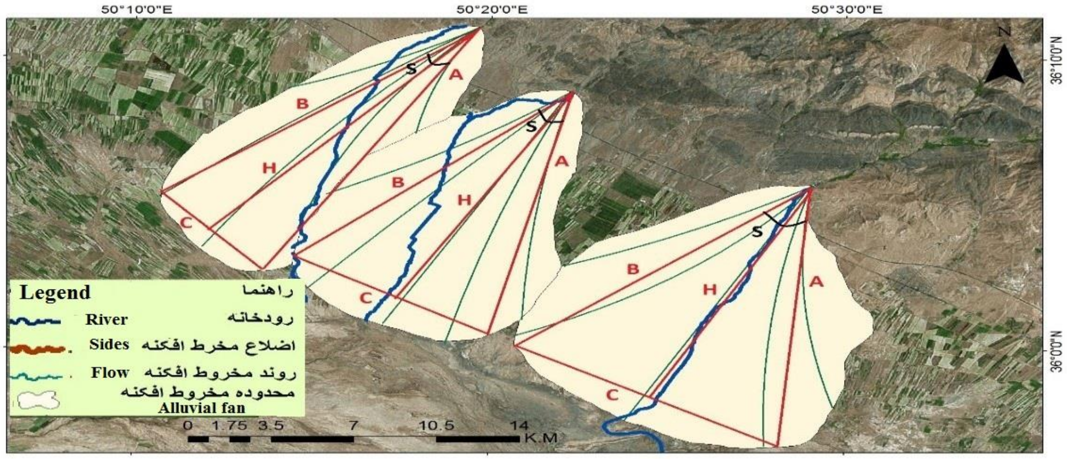
رابطه (۱)

$$S = \cos^{-1}\left[\frac{a^2 + b^2 - C^2}{2 * ab}\right]$$

رابطه (۲)

$$v = \left[\frac{\pi * R^2 * H}{3}\right] * \left[\frac{s}{360}\right]$$

[2] Ex-Post Facto
[1] Kiriging



شکل ۲- نمونه ترسیم هندسی مخروط افکنه‌ها جهت انجام محاسبات مورفومتری

Fig.2. samples of geometric drawing of alluvial fans for performing morphometric calculations

در این مقاله پس از استخراج داده‌های مورفومتری، ابتدا نقشه‌های هم ارزش دبی، سطح ایستابی و هدایت الکتریکی تهیه و برای هر مخروط افکنه ترسیم شد و برحسب اطلاعات چاه‌های آب موجود در هر یک از مخروط افکنه‌ها (به‌صورت مجزا) ارتباط بین ویژگی‌های مخروط افکنه و پارامترهای آب زیرزمینی ارزیابی شد. همچنین به‌منظور طبقه‌بندی مورفومتری مخروط افکنه‌ها از تحلیل خوشه‌ای سلسه‌مراتبی[1] در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده گردید و نمودار درختی آن ترسیم شد (شکل ۳). به‌طورکلی تحلیل خوشه‌ای تلاش می‌کند گروه‌های نسبتاً همگن از متغیرها را بر اساس خصوصیات انتخاب‌شده شناسایی کند. این روند از الگوریتمی استفاده می‌کند که با هر متغیر در خوشه‌ای جداگانه کار را شروع کرده و خوشه‌ها را تا جایی ترکیب می‌کند که تنها یک خوشه باقی بماند (Shariat Panah & Ranjbari, 2005). در سطح‌بندی مکان‌ها به روش تحلیل خوشه‌ای درواقع یک سطح شباهت زیادی به همدیگر داشته اما تفاوت قابل‌توجهی با مکان‌های سطوح دیگر دارند (Hekmatnia & Mousavi, 2006) معادله ۳ محاسبه فاصله اقلیدسی خوشه‌بندی سلسه‌مراتبی را نشان می‌دهد.

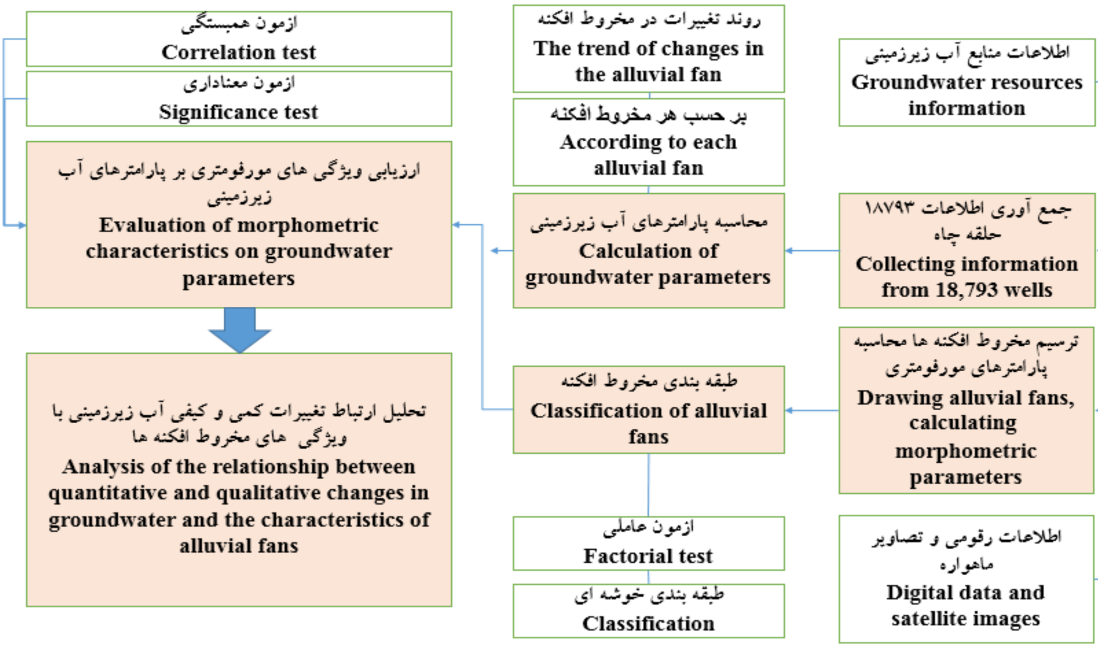
رابطه (۳)

$$(d(a)) = \sqrt{\sum_{\Sigma=1}^{n}(xi - yi)^2}$$

در فرمول شماره ۳ d (a) فاصله اقلیدسی در هر پارامتر آب زیرزمینی است و x و y مقدار عددی و مقدار متغیرها است. جهت تعیین مهم‌ترین عامل مورفومتری از آزمون تحلیل عاملی به روش عاملی تأییدی استفاده گردید. همچنین با توجه به نا پارامتریک و یا پارامتریک بودن داده‌های هر خوشه به‌وسیله آزمون معناداری

[1] HCA

کروسکال– والیس و واریانس یک‌طرفه، میزان معناداری پارامترهای آب زیرزمینی در هر خوشه مشخص گردید. در ادامه هر خوشه تفکیک‌شده به‌صورت مجزا به‌وسیله آزمون همبستگی پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان همبستگی پارامترهای مورفومتری هر خوشه با تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی آن خوشه سنجیده شد.



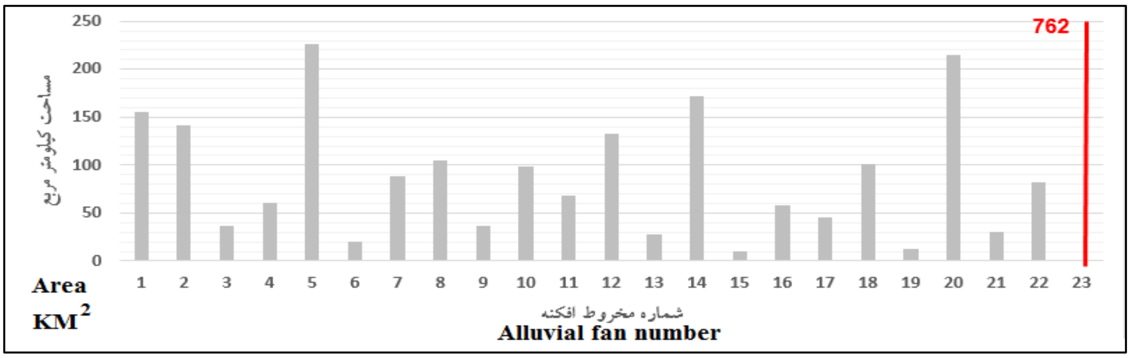
شکل ۳– مراحل انجام تحقیق

Fig.3. the research steps

۳– نتایج و بحث

۳– ۱–مورفومتری مخروط افکنه‌ها

مخروط افکنه‌های موردمطالعه در دشت‌های جنوبی البرز مرکزی شامل ۲۳ مخروط افکنه اصلی است. اندازه مخروط افکنه‌ها در منطقه موردمطالعه با توجه به وجود مخروط افکنه‌های تکامل‌یافته و مخروط افکنه‌های کوچک دارای پراکنش مختلف است.



شکل ۴- پراکندگی مخروط افکنه‌ها بر اساس میزان مساحت

Fig.4. Distribution of alluvial fans based on their areas

با توجه به جدول ۱ بزرگ‌ترین مخروط افکنه منطقه موردمطالعه بر روی رودخانه تهران کرج تشکیل‌شده (مخروط افکنه شماره ۲۳) که مساحت آن برابر ۷۶۲ کیلومترمربع است. همچنین مخروط افکنه‌های ۵ و ۲۰ همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده است بعد از مخروط افکنه شماره ۲۳ بزرگ‌ترین مساحت در منطقه را با وسعت ۲۲۵ و ۲۱۵ کیلومترمربع دارا هستند. مخروط افکنه شماره ۱۱ با مساحت ۶/۸ کیلومترمربع کوچک‌ترین مخروط افکنه در منطقه بوده محسوب می‌شود. بیشترین حجم مربوط به مخروط افکنه شماره ۲۰ با میزان ۳۴۴۴ مترمکعب بوده (شکل ۴) و کمترین حجم نیز مربوط به مخروط افکنه شماره ۱۱ و ۶ است. لازم به توضیح بوده که مخروط افکنه شماره ۲۳ اگرچه بیشترین مساحت را نسبت به سایرین دارا است اما مخروط افکنه شماره ۲۰ به دلیل شکل بادبزنی و تقعر ۱/۵ متری سطح آن دارای بیشترین حجم رسوب است. با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع رأس مخروط از قاعده مخروط نشان‌دهنده میزان ناهمواری سطح مخروط افکنه‌ها است، می‌توان بیان نمود که این پارامتر ازجمله عامل‌های مورفومتری مهم در مخروط افکنه‌ها بوده که می‌تواند در زمان نفوذپذیری و تشکیل آبخوان بسیار مهم باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود کمترین میزان اختلاف رأس از قاعده مخروط افکنه مربوط به مخروط افکنه‌های شماره ۱۸ بوده که میزان آن برابر ۴۷۰ متر است. زاویه جاروب نیز از دیگر پارامترهایی است که تا حدودی نشان دهد نقش تراکم انشعاب در رأس مخروط افکنه است و بیشترین زاویه جاروب مربوط به مخروط افکنه شماره ۲۰ است. تقعر مخروط افکنه یکی پارامترهای تعیین‌کننده ضخامت و ستبرای رسوب و ظاهر مخروط افکنه‌ها است. بیشترین تقعر مخروط افکنه مربوط به مخروط شماره ۲۳ و کمترین میزان تقعر مربوط به مخروط شماره ۲۰ است.

جدول ۱- ویژگی‌های مورفومتری و خوشه‌بندی مخروط افکنه‌ها

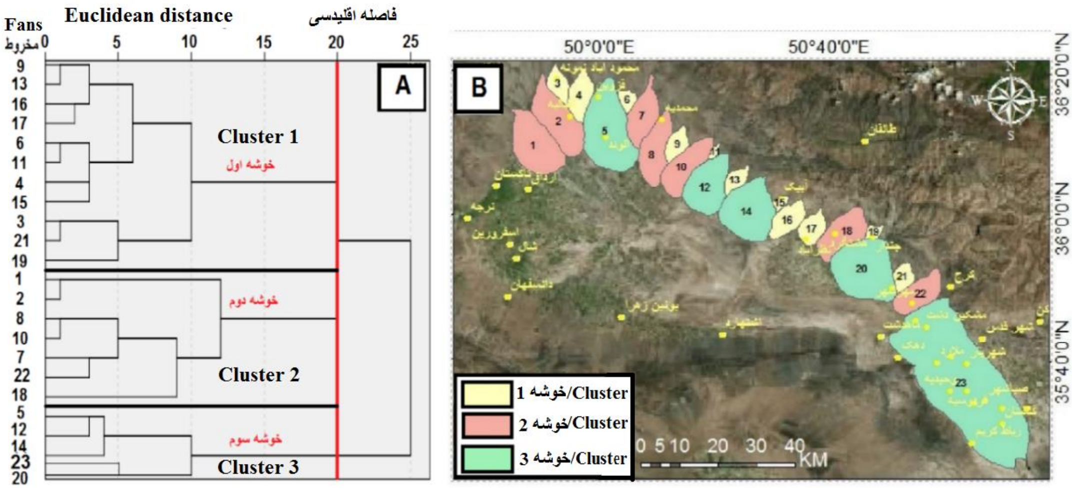
Table 1- Morphometric characteristics and clustering of alluvial Fans

Area(k.m²) مساحت	Length(M) طول	Head height(M) ارتفاع رأس	Height of the Base(M) ارتفاع قاعده	Height difference(M) اختلاف ارتفاع	Length of Base(M) طول قاعده	Acute Angle(degree) زاویه حاده	radius(M) شعاع	Concavity تقعر	Volume حجم	slope(degree) شیب	cluster خوشه	Name of the river اسم رودخانه	Num. ردیف
156.06	19614	1315	1226	89	9275	27.0	4316	4.1	0.13	3	2	چهرود Chehrud-	1
141.9	23259	1391	1224	167	11981	22.9	4533	4.2	0.23	3.5	2	میانه Meyaneh-	2
37.02	11789	1464	1286	178	7993	42.5	3561	2.1	0.28	4.2	1	نمونه Nmoneh-	3
61.41	14300	1403	1252	151	10645	24.8	2746.5	4.1	0.08	4.5	1	اروس آباد Arosabad-	4
225.9	22790	1391	1204	187	16472	33.7	6374.5	3.3	0.75	4.9	3	قزوین Qazvin-	5
19.83	6613	1388	1280	108	5509	36.7	1387	3	0.02	6	1	عشرکار Ashrkar-	6
87.98	19518	1543	1225	318	13903	23.4	3773.5	3.9	0.31	5.8	2	هفت‌چشمه Haft cheshmeh-	7
105.2	20428	1394	1182	212	10978	7.0	3154.5	4.7	0.04	5.4	2	محمدیه Muhammadiyah-	8
35.93	10795	1372	1208	164	8260	30.0	2033.5	3.7	0.06	6.3	1	آب مدام Abmadam-	9
99.09	18311	1392	1170	222	7971	22.7	3350	5	0.16	6	2	Kabir-کبیر	10
6.83	5630	1411	1266	145	5513	26.0	897.5	4	0.01	5.3	1	فالیزان Falizan-	11
132.91	16891	1372	1149	223	11916	37.8	4968	2.9	0.6	6	3	بهجت‌آباد Behjatabad-	12
27.9	10472	1405	1186	219	8671	29.2	2462	3.1	0.11	5.9	1	جزمه Jazmeh-	13
171.84	16723	1381	1144	237	17682	52.3	7049.5	2.1	1.79	5.2	3	زیاران Zeyaran-	14
10.24	5499	1345	1195	150	4509	37.2	1439	3	0.03	4.4	1	آبیک Abyek-	15
58.29	12909	1365	1153	212	12370	32.6	2654.5	3.5	0.14	4.5	1	چمبور Champur-	16
45.52	10391	1441	1190	251	7720	39.2	3047	2.8	0.27	4.9	1	Heev-هیو	17
101	16023	1688	1208	480	9146	21.6	2733.5	5.2	0.23	5.1	2	هشتگرد Hashtgerd-	18
12.76	6519	1594	1378	216	5988	46.5	1737.5	2.3	0.09	4.6	1	چندار Chandar-	19
215.54	17481	1454	1245	209	23009	68.8	9078.5	1.5	3.44	4.1	3	کردان Kordan-	20

21	کهریز Kahriz-	1	4.5	0.15	2.3	2276.5	47.2	8982	206	1243	1449	8955	30.34
22	چهاردانگ- Chahar Dangeh	2	4.3	0.15	5.1	2713	22.1	6659	308	1246	1554	15443	82.22
23	کرج -Karaj	3	3.9	1.18	5.3	7295.5	20.3	24620	377	992	1369	47081	762.06

۳-۲- طبقه‌بندی ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها

مخروط افکنه‌ها از لحاظ خصوصیات مورفومتری به سه خوشه طبقاتی اصلی قابل‌تفسیم می‌باشند (شکل ۵). از میان خوشه‌های مورفومتری تفکیک شده ۱۱ مخروط فکنه در خوشه اول، ۷ مخروط افکنه در خوشه دوم و ۵ مخروط افکنه در خوشه سوم واقع‌شده است.



شکل ۵- طبقه‌بندی خوشه‌ای ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها (شکل A: نمودار درختی خوشه‌بندی مورفومتری مخروط افکنه‌ها، شکل B: پراکندگی مخروط افکنه‌ها بر اساس تفکیک خوشه‌ای)

Fig.5. Cluster classification of alluvial fan morphometric features (Figure A: Tree diagram of morphometric clustering of alluvial fans, Figure B: Distribution of alluvial fans based on cluster separation)

خوشه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب با ۸۱، ۸۵ و ۹۴ درصد اثرگذاری پارامترهای مورفومتریک مخروط افکنه ای از یک دیگر تفکیک شده‌اند در واقع عامل تفکیک مخروط افکنه‌ها از یکدیگر پارامترهای مورفومتری آن‌ها می‌باشد و هر خوشه با تجانس خصوصیات از یکدیگر جدا شده است. حال با توجه به موارد بیان شده مهم‌ترین عامل در هر خوشه موردبررسی قرار گرفت. خوشه اول عموماً شامل مخروط افکنه‌های کوچک و مخروط افکنه‌هایی میانی بوده و پراکندگی این مخروط افکنه‌ها در تمام منطقه از شرق تا غرب منطقه مطالعاتی دیده می‌شود. لازم به توضیح است که مخروط افکنه‌های موجود در نواحی خشک و نیمه‌خشک برخلاف دارای مخروط افکنه‌های میانی کوچک‌تری هستند که در بین مخروط افکنه‌های

بزرگ‌تر قرار گرفته و علت این موضوع را می‌توان وجود حوضه‌های آبریز فرعی و کوچک‌تر در بین دو حوضه آبریز بزرگ رودخانه‌های فصلی، سیلابی و اقلیم منطقه دانست. به‌طورکلی میانگین پارامترهای مورفومتری در خوشه اول نسبت به خوشه دوم و سوم کوچک‌تر است به‌طور مثال در خوشه اول پارامترهای مساحت، شعاع و طول قاعده به ترتیب با میانگین ۳۱ کیلومترمربع، ۲۲۰۳ و ۹۴۴۲ متر دارای کمترین اندازه نسبت به خوشه دوم و سوم است همچنین طول مخروط افکنه‌ها با میزان ۹۴۴۲ متر کمترین میانگین را در میان دو خوشه دیگر دارد (جدول، ۲). با بررسی آزمون عاملی خوشه اول مشخص گردید که مؤلفه اول خوشه اول با ۲۹ درصد توجیه‌پذیری دارای بیشترین نمره در عامل‌های ارتفاع رأس مخروط و ارتفاع قاعده مخروط افکنه می‌باشد (جدول ۴). همچنین مؤلفه دوم خوشه اول با ۲۸ درصد توجیه‌پذیری در تفکیک خوشه‌ها، دارای بیشترین نمره در عامل‌های مساحت، شعاع و طول قاعده است. مؤلفه سوم خوشه اول نیز با ۲۴ درصد دارای بیشترین نمره در عامل طول مخروط افکنه است.

مخروط افکنه‌های موجود در خوشه دوم نیز دارای پراکندگی در کل منطقه است اما در بخش غربی منطقه (محدوده شمال دشت قزوین) تجمع بیشتری دارند. همان‌طور که در جدول ۳ نمایش داده‌شده، مؤلفه اول خوشه دوم با توجیه‌پذیری ۴۱ درصد عامل اصلی تفکیک این خوشه می‌باشد و عامل مساحت، طول، شعاع و اختلاف ارتفاع رأس از قاعده بیشترین نمره عاملی در این مؤلفه را دارند. لازم به توضیح است که پارامتر میانگین ارتفاع رأس و تقعر به ترتیب برابر با میانگین ۱۴۶۸ متر و ۴/۶ دارای بیشترین اندازه نسبت به دو خوشه اول و سوم است. لازم به توضیح است که میانگین زاویه جاروب در مخروط‌های خوشه دوم کمترین درجه را نسبت به زاویه جاروب مخروط‌ها افکنه‌های خوشه‌های دیگر دارد.

جدول ۲–میانگین، پیشینه و کمینه خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه‌ها در هر خوشه

Table 2- Average, maximum and minimum morphometric characteristics of alluvial cones in each cluster

Cluster three-خوشه سوم			Cluster two-خوشه دوم			Cluster one-خوشه اول			مخروط مورفومتری افکنه Morphometry of alluvial fan
کمینه Minimum	میانگین Mean	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	میانگین Mean	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	میانگین Mean	بیشینه Maximum	
132.9	301.6	762	82.2	110.4	156	6.8	31.4	61.41	مساحت Area(Km^2)
16723	24193	47081	15443	18942	23259	5499	9442	14300	طول Length (m)
1369	1393	1454	1315	1468	1688	1345	1421	1594	ارتفاع رأس Head height(m)
992	1147	1245	1170	1211	1264	1153	1239	1368	ارتفاع قاعده Height of the Base(m)
187	24.6	377	89	256.5	480	108	181.8	251	اختلاف ارتفاع Height

									difference(m)
11916	18739	24620	6659	9987	13903	4509	7832	12370	طول قاعده Length of Base(m)
20.3	42.5	68.8	7	20.9	27	24.8	35.6	47.2	زاویه جاروب Acute Angle (degree)
4968	69.53	9078	2713	3510	4533	897.5	2203	3561	Radius(M) شعاع
1.5	3.02	5.3	3.9	4.6	5.2	2.1	3.08	41	Concavity تقعر
0.06	1.5	3.44	0.04	0.17	0.31	0.01	0.11	0.28	Volume- حجم (KM^3)
3.9	4.8	6	3	4.7	6	4.2	5	6.3	slope شیب (degree)

جدول ۳-نتایج آزمون عاملی مخروط افکنه‌ها برحسب تفکیک خوشه‌ای

Table 3-Results of the alluvial fan factor test according to Clustering

خوشه اول Cluster one			**خوشه دوم cluster two**		**خوشه سوم Cluster three**				**مخروط افکنه مورفومتری Morphometry of alluvial fan**
مؤلفه ۳ Factor3	مؤلفه ۲ Factor2	مؤلفه ۱ Factor 1	مؤلفه ۲ Factor2	مؤلفه ۱ Factor1	مؤلفه ۳ Factor 3	مؤلفه ۲ Factor 2	مؤلفه ۱ Factor 1		
0.25	0.96	0.002	0.38	0.78	0.06	0.92	-.025	بار عاملی factor score	مساحت Area(Km^2)
0.13	0.98	0.37	-0.17	-0.78	0.91	0.12	0.19	بار عاملی factor score	طول Length (m)
0.79	-0.53	-0.01	0.17	0.96	0.1	-0.01	0.87	بار عاملی factor score	ارتفاع رأس Head height(m)
0.18	-0.93	0.82	0.82	0.06	0.33	-0.28	0.79	بار عاملی factor score	ارتفاع قاعده Height of the Base(m)
0.18	0.93	-0.02	0.005	0.98	0.66	0.39	0.22	بار عاملی factor score	اختلاف ارتفاع Height difference(m)
0.85	0.51	0.93	-0.11	-0.1	0.12	0.85	-0.28	بار عاملی factor score	طول قاعده Length of Base(m)
0.55	-0.79	0.12	0.83	0.01	0.49	-0.12	0.77	بار عاملی factor score	زاویه جاروب Acute Angle(degree)
0.99	-0.02	0.53	0.34	-0.74	0.44	0.81	0.12	بار عاملی factor score	شعاع Radius(m)
-0.25	0.94	-0.77	-.022	0.53	-0.61	0.11	-.072	بار عاملی factor score	تقعر Concavity
0.9	-0.35	0.69	0.47	0.46	0.65	0.59	0.32	بار عاملی factor score	حجم Volume(KM^3)
-0.84	-0.48	0.2	-0.71	0.57	0.06	-0.52	0.57	بار عاملی factor score	شیب slope (degree)
39	55	22	22	41	34	28	29	Percentage of variance–درصد واریانس	
	94		85			81		Cumulative percentage–درصد کل تجمعی	

*رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

به غیر از پارامترهای ذکر شده اکثر پارامترهای مورفومتری در خوشه دوم دارای اندازه متوسط می‌باشد. درواقع میانگین پارامترهای این خوشه از خوشه اول بزرگ‌تر بوده و از خوشه سوم کوچک‌تر می‌باشد.

خوشه سوم که شامل ۵ مخروط افکنه بزرگ بوده اکثراً بر روی رودخانه‌های اصلی و مشهور منطقه دیده می‌شود (شکل ۵). در خوشه سوم بارزترین مؤلفه‌ای که سبب تفکیک این خوشه از سایرین شده مؤلفه دوم با توجیه‌پذیری ۵۵ درصد است. بیشترین نمره عاملی در این مؤلفه مربوط به عامل‌های مساحت، طول، ارتفاع قاعده، اختلاف ارتفاع و تقعر است. اکثر مخروط افکنه‌های موجود در این خوشه نسبت به دو خوشه دیگر دارای بیشترین میانگین و ابعاد می‌باشند به‌طور مثال مؤلفه مساحت با میانگین ۳۰۱ کیلومترمربع و طول مخروط با میانگین ۲۴۱۹۳ متر و همچنین حجم با میانگین ۱/۵ کیلومتر مکعب بیشترین اندازه و ابعاد را نسبت به دو خوشه دیگر دارند. ارتفاع قاعده مخروط افکنه‌های خوشه سوم با میانگین ۱۱۴۶ متر کمترین ارتفاع را در میان سایر خوشه‌ها دارد.

۳-۳-آب زیرزمینی

با توجه به جدول ۴ میزان دبی آب چاه در محدوده مطالعاتی تهران مربوط به سازمان منابع آب ایران (۱۴۰۰) از شرقی‌ترین مخروط افکنه (رودخانه کرج) به سمت غربی‌ترین مخروط افکنه (رودخانه چهرود) در حال افزایش است. همان‌طور که در نمودار شکل ۶ قابل‌تشخیص است، مخروط افکنه‌های کوچک و بزرگ (میان مخروط‌ها و مخروط افکنه‌های کامل) تقریباً از بعد از رودخانه زیاران (در نزدیکی شهر آبیک استان قزوین) دچار تغییر در میزان دبی آب چاه قابل‌برداشت از چاه‌ها می‌شوند.

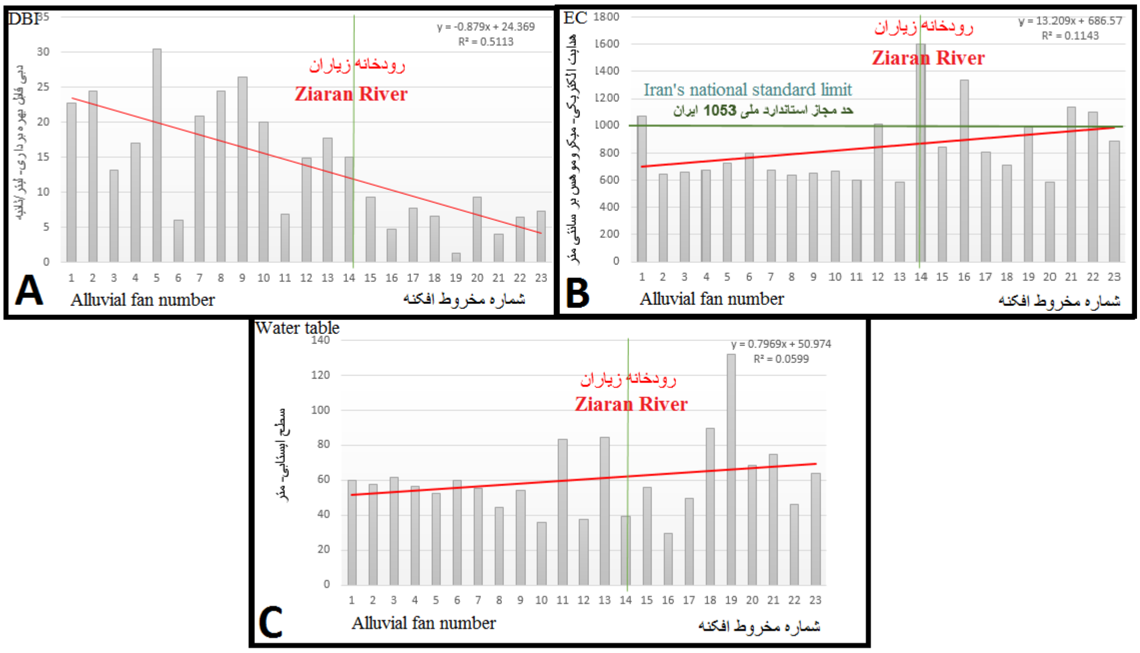
جدول ۴-وضعیت پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌های منطقه موردمطالعه

Table 4- Status of Groundwater parameters in alluvial fan of the Case studies

هدایت الکتریکی **EC- µ mho/cm**	دبی **DBI l/s**	عمق سطح ایستابی **depth of the water table**	شماره مخروط **Number of alluvial Fans**	هدایت الکتریکی **EC- µ mho/cm**	دبی **DBI l/s**	عمق سطح ایستابی **depth of the water table**	شماره مخروط **Number of alluvial Fans**
588	17.8	84.5	13	1074	22.7	60	1
1606	15	39.2	14	643	24.5	57.3	2
846	9.4	55.6	15	659	13.2	61.8	3
1336	4.8	29.3	16	678	17.1	56.5	4
805	7.8	49.7	17	727	30.5	52.5	5
711	6.7	89.9	18	800	6.1	59.6	6
988	1.3	132.3	19	673	20.9	55.4	7
590	9.4	68.3	20	641	24.5	44.2	8
1139	4	74.6	21	653	26.5	54.2	9
1101	6.5	46.3	22	668	20.1	35.7	10
892	7.3	63.8	23	602	6.9	83.3	11
				1017	14.9	37.4	12

همچنین چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌های شرقی (شرق رودخانه زیاران) دارای میانگین دبی آب چاه ۷.۲ لیتر بر ثانیه بوده و این میزان با اختلاف تقریباً دو برابری در مخروط‌های غربی (غرب رودخانه زیاران) دارای میانگین دبی ۱۹ لیتر بر ثانیه است.

عمق سطح ایستابی می‌تواند تحت تأثیر خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه‌ها و به‌طورکلی مورفومتری دشت باشد؛ زیرا عمق سطح ایستابی به عواملی نظیر نوع و ضخامت رسوب، مورفوتکتونیک منطقه و ساختار رودخانه‌ها وابسته است که ارتباط مستقیمی با مورفومتری مخروط افکنه‌ها دارد. با توجه به جدول ۴ و نمودار ۶ مشاهده می‌شود که میانگین عمق سطح ایستابی تا سطح زمین در غرب منطقه (غرب رودخانه زیاران) برابر با ۵۵/۸ متر بوده که نسبت به میانگین عمق سطح ایستابی نواحی شرقی رودخانه زیاران (۶۷/۷ متر) دارای میانگین کمتری است. در واقع تشکیل پلایا و حوضچه‌های انتهایی در خط پایان دشت غربی سبب بالا آمدن سطح ایستابی در این منطقه گردیده است. پارامتر هدایت الکتریکی به‌عنوان یک شاخص مهم در تشخیص وضعیت کلی آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه به غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب زیرزمینی وابسته است و با افزایش غلظت آن‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۶- روند تغییرات مکانی پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌ها

A: دبی آب چاه، B: هدایت الکتریکی، C: عمق سطح ایستابی

Fig.6. Spatial trends of Groundwater parameters in alluvial fans
A: Well waterdischarge, B: Electrical Conductivity, C: Water table depth

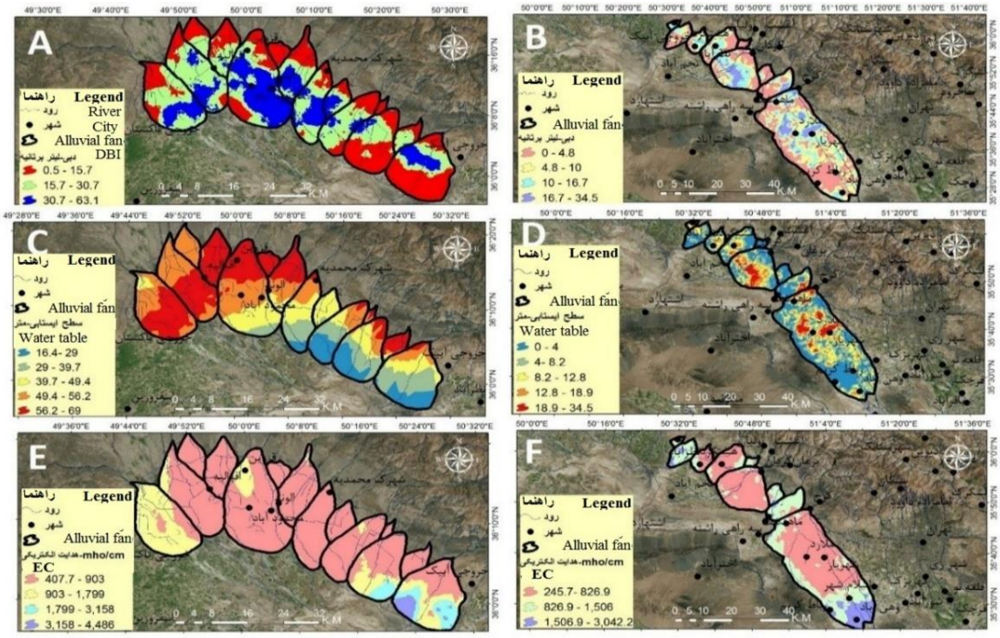
با توجه به روند تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی مشخص گردید تغییرات میزان هدایت الکتریکی با یک شیب ملایم در قبل و بعد از رودخانه زیاران باهم متفاوت بوده، به صورتی که با حرکت از غرب به سمت شرق منطقه میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. در تبیین این موضوع می‌توان گفت که علاوه بر تأثیرگذاری عوامل انسانی و طبیعی (نظیر وجود سازندهای تبخیری گچی و نمکی) بر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی نواحی شرقی منطقه، وضعیت کمیت آب زیرزمینی و همچنین نزدیکی سطح ایستابی به سطح زمین نیز بر تغییرات مکانی هدایت الکتریکی تأثیرگذار است. درواقع با کاهش کمیت و فقر آبدهی چاه میزان غلظت املاح موجود در آب افزایش‌یافته و با کاهش عمق سطح ایستابی تا سطح زمین نیز نقش فرایندهای موئینگی[1] و کاهش خود پالایی خاک (به دلیل کاهش ستبرای و ضخامت خاک) بیشتر می‌گردد، درنتیجه سبب شوری آب و افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی می‌شود؛ بنابراین به‌منظور تائید این موضوع مشخص گردید که میزان آبدهی چاه‌ها و عمق سطح ایستابی در چاه‌های شرقی ۷/۲ لیتر بر ثانیه و ۵۵ متر بوده درصورتی‌که این میزان در چاه‌های غربی به ۱۸/۲ لیتر بر ثانیه و ۶۷ متر افزایش داشته است. لازم به توضیح است که افزایش میزان هدایت الکتریکی در آب چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌ها منطقه سبب شده تا در برخی مناطق بالاتر از حد استاند ملی ۱۰۵۳ قرار گیرد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است مخروط افکنه شماره ۱۴(زیاران) با میزان ۱۶۰۶ میکروموهس بر سانتی‌متر به دلیل هم‌جواری با حوضچه‌های نمکی و انتهایی دشت دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی است. همچنین از دلایل اصلی بالا بودن هدایت الکتریکی در مخروط افکنه‌های شماره ۱،۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ (مخروط افکنه رودخانه‌های چهرود، بهجت‌آباد، زیاران، چمپور، چندار، کهریز و چهاردانگه) می‌توان به تأثیر عوامل طبیعی و نقش عوامل آنتروپوژنیک به دلیل تمرکز سکونت‌گاه‌های انسانی و افزایش زمین‌های کشاورزی اشاره نمود. درواقع وجود فاضلاب‌های متعدد و همچنین استفاده از کودها و آبیاری‌های متعدد زمین‌های کشاورزی می‌تواند سبب شوری آب و همچنین افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در این منطقه شود.

۳-۴-ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه و آب زیرزمینی

پیش از تعیین میزان تأثیرپذیری مخروط افکنه‌های موجود در خوشه‌های تفکیکی، بر پارامترهای آب زیرزمینی، ابتدا وضعیت مورفومتری لند فرم‌های مخروط افکنه ای به‌عنوان یک لند فرم مجزا از سایر مورفومتری لند فرم‌های موجود در منطقه مورد آنالیز قرار گرفت. بر این اساس و با توجه به جدول ۵ به‌منظور تعیین ارتباط بین تغییرات پارامترهای مورفومتری تمامی مخروط افکنه‌ها با تغییرات پتانسیل آب زیرزمینی منطقه، از آزمون همبستگی استفاده شد. به‌طورکلی میزان دبی چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌ها تا

[1] Capillarity

حدود بسیار زیادی نشان‌دهنده پتانسیل پایدار یا ناپایدار آب زیرزمینی جهت بهره‌برداری از این منابع است. نتایج آزمون همبستگی میزان دبی آب چاه با مورفومتری مخروط افکنه‌ها نشان داد پارامترهای مساحت، طول، طول قاعده و شعاع مخروط افکنه با دبی آب چاه همبستگی مثبت در حد ۹۵٪ دارد و با افزایش پارامترهای ذکرشده میزان دبی آب قابل‌برداشت از چاه‌ها افزایش می‌یابد. درواقع بزرگی مخروط افکنه‌ها ازنظر طول و شعاع و همچنین بادبزنی بودن آن‌ها به دلیل آنکه نشان‌دهنده تکامل یک مخروط افکنه بوده و بیانگر وجود شبکه‌های انشعاب قدیمی و جدید بسیار و همچنین توالی رسوب منظم است، می‌تواند ازجمله دلیل افزایش آبدهی در این مخروط افکنه‌ها محسوب شود. همچنین پارامترهای ارتفاع رأس، ارتفاع قاعده و زاویه جاروب به‌عنوان یک عامل مهم در مدت و میزان نفوذپذیری آب در خاک دارای همبستگی منفی و قوی در حد ۹۹٪ با میزان دبی آب چاه بوده که نشانگر آن است که با کاهش میزان این پارامترها، میزان دبی آب چاه افزایش می‌یابد.



شکل ۷- پهنه‌بندی تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌های دشت‌های جنوبی البرز مرکزی

A: پهنه‌بندی تغییرات دبی آب چاه در نواحی غربی B: پهنه‌بندی تغییرات دبی آب چاه در نواحی شرقی، C: پهنه‌بندی تغییرات سطح ایستابی در نواحی غربی، D: پهنه‌بندی تغییرات سطح ایستابی در نواحی شرقی، E: پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در نواحی غربی، F: پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در نواحی شرقی)

Fig.7. Zoning of groundwater parameter changes in the alluvial fan morphometric features A: Zoning of well water discharge changes in the western areasB,: Zoning of well water discharge changes in the eastern areas, C: Zoning of water table changes in the western areas, D: Zoning of water table changes in the eastern areas, E: Zoning of electrical conductivity in the western areas, F: Zoning of electrical conductivity in the eastern areas)

به‌طورکلی و با توجه به توصیفات بیان‌شده می‌توان این‌گونه استنباط نمود که میزان آبدهی چاه‌ها در مخروط افکنه‌های بزرگ و کم ارتفاع با دهانه ورودی (زاویه جاروب) کوچک‌تر و بادبزنی شکل و گرد بیشتر از سایر مخروط افکنه‌ها است. همان‌طور که در شکل ۷ آمده این مدل از مخروط افکنه‌ها در نواحی غربی منطقه مطالعاتی دارای پراکندگی بیشتری می‌باشند به‌طور مثال مخروط افکنه شماره ۵ که در محدوده شهر قزوین قرارگرفته ازجمله مخروط افکنه‌های ی است که به دلیل نوع مورفومتری خود نظیر مساحت (۲۲۶ کیلومتر مربع) و حجم زیاد (۰/۷۵ کیلومتر مکعب) و اختلاف ارتفاع نسبتاً مناسب (۱۸۷ متر) دارای بیشترین میزان آبدهی (۳۰ لیتر بر ثانیه) است. با توجه به جدول ۵ و برحسب آزمون همبستگی، تأثیر ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها بر میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به دست آمد و مشخص گردید که پارامتر مورفومتری حجم و زاویه جاروب کل مخروط افکنه‌های محدوده مطالعاتی با میزان هدایت الکتریکی منطقه همبستگی مثبت در حد ۹۹٪ دارد. درواقع با افزایش میزان حجم و زاویه جاروب مخروط‌ها، میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد؛ اما نکته قابل‌توجه این است که میزان تقعر دارای رابطه منفی و نسبتاً قوی با هدایت الکتریکی بوده و با کاهش تقعر در یک مخروط میزان هدایت الکتریکی در آن افزایش می‌یابد.

جدول ۵-آزمون همبستگی میان پارامترهای مورفومتری مخروط افکنه‌ها و پارامترهای آب زیرزمینی

Table 5-Correlation test between alluvial fans morphometric parameters and Groundwater parameters

مخروط افکنه مورفومتری **Morphometry of alluvial fan**		میانگین کمینه سطح ایستابی **minimum**	میانگین بیشینه سطح ایستابی **maximum**	عمق سطح ایستابی **depth of the water table**	دبی **DBI l/s**	هدایت الکتریکی **EC- μ mho/cm**
مساحت Area (KM²)	ضریب همبستگی Correlation	-0.45	-0.058	-0.41	0.62	0.22
	Sig- میزان معنا داری	0.020	0.40	0.03	0.001	0.16
طول Length(m)	ضریب همبستگی Correlation	-0.37	-0.23	-0.5	0.66	0.1
	Sig- میزان معنا داری	0.04	0.15	0.01	0.001	0.33
ارتفاع رأس Head height(m)	ضریب همبستگی Correlation	0.25	0.42	0.56	-0.42	-0.1
	Sig- میزان معنا داری	0.13	0.028	0.004	0.027	0.32
ارتفاع قاعده Height of the Base(m)	ضریب همبستگی Correlation	0.85	0.06	0.74	-0.26	-0.22
	Sig- میزان معنا داری	0.001>	0.38	0.001>	0.051	0.16
اختلاف ارتفاع Height difference(m)	ضریب همبستگی Correlation	-0.28	0.41	0.12	-0.22	0.034
	Sig- میزان معنا داری	0.10	0.029	0.3	0.16	0.44
طول قاعده Length of Base(m)	ضریب همبستگی Correlation	-0.34	0.03	-0.42	0.52	0.33
	Sig- میزان معنا داری	0.06	0.43	0.028	0.008	0.073
زاویه جاروب Acute Angle(degree)	ضریب همبستگی Correlation	0.15	0.2	0.19	-0.42	0.55

	Sig- میزان معنا دارای	0.25	0.19	0.2	0.027	0.005
شعاع Radius (m)	ضریب همبستگی Correlation	-0.43	-0.014	-0.04	0.54	0.35
	Sig- میزان معنا دارای	0.026	0.42	0.024	0.005	0.059
تقعر Concavity	ضریب همبستگی Correlation	-0.26	-0.074	-0.18	0.27	-0.36
	Sig- میزان معنا دارای	0.12	0.37	0.2	0.11	0.05
حجم Volume (KM^3)	ضریب همبستگی Correlation	-0.3	0.16	-0.29	0.18	0.57
	Sig- میزان معنا دارای	-.093	0.023	0.095	0.21	0.003
شیب Slope (degree)	ضریب همبستگی Correlation	0.027	0.17	-0.098	0.092	-0.25
	Sig- میزان معنا دارای	0.45	0.32	0.33	0.34	0.13

رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

همان‌طور که در جدول ۵ و شکل ۷ مشخص است میزان هدایت الکتریکی در جنوب مخروط افکنه زیاران (مخروط شماره ۱۴) با میزان ۱۰۶ دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی در میان سایر مخروط افکنه‌ها بوده که میزان زاویه جاروب و حجم آن بیشتر از سایرین بوده و میزان تقعر کمتر دارد. لازم به توضیح است که میانگین کل هدایت الکتریکی در محدوده مطالعاتی ۸۴۵ میکرو موهس بر سانتی‌متر بوده که اگرچه پایین‌تر از استاندارد ملی بوده و مطلوب است اما در محدوده حساس قرار دارد. به‌طورکلی شکل مورفومتری مخروط افکنه‌ها برحسب میزان ارتفاع و ناهمواری و همچنین ساختار تراکمی و نوع تمرکز در انشعاب آبراهه‌ها تا حدود زیادی در پیش‌بینی وضعیت کیفیت آبخوان منطقه مؤثر است. میانگین عمق سطح ایستابی با شعاع، طول و مساحت مخروط افکنه‌ها رابطه منفی و قوی در حد ۹۹٪ دارد که نشان‌دهنده آن است که با افزایش شعاع، طول و مساحت مخروط افکنه‌ها، عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کاهش پیدا می‌کند. همچنین ارتفاع رأس، ارتفاع قاعده و طول قاعده دارای رابطه مثبت در حد ۹۹٪ با عمق سطح ایستابی است. در حقیقت با افزایش شیب و وسعت قاعده مخروط افکنه‌ها عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کمتر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است در نواحی غربی محدوده مطالعاتی به دلیل وجود رسوبات گسترده و مخروط افکنه‌های قدیمی فراوان، عمق سطح ایستابی تا سطح زمین بسیار زیاد است و در مناطق مرکزی (مخروط افکنه‌های ۱۴ تا ۹) به دلیل نزدیکی مخروط‌ها به چاله انتهایی دشت عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کمتر است.

۳-۵- نقش ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه بر پارامترهای آب زیرزمینی هر یک از خوشه‌ها

با توجه به تأثیرپذیری آب زیرزمینی منطقه از خصوصیات مورفومتری کل مخروط افکنه‌ها (به‌عنوان یک لند فرم واحد)، می‌توان برحسب تفکیک خوشه‌ای مخروط افکنه‌ها وضعیت آب زیرزمینی در هر خوشه را نیز پهنه‌بندی نمود؛ بنابراین در این بخش میزان همبستگی هر یک از خوشه‌های ژئومورفیک با میانگین عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی محاسبه شد. نتایج نشان داد که خصوصیات

مورفومتری در مخروط افکنه‌ها عامل مهمی جهت شناسایی دبی مناسب آب چاه می‌باشند. بر این اساس به‌منظور تعیین نقش ویژگی‌های مورفومتری بر آب‌های زیر زمینی، میزان معناداری هر یک از خوشه‌ها با میانگین عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی سنجیده شد (جدول ۶)، نتایج نشان داد که دبی چاه‌ها دارای اختلاف معنادار در حد ۹۵ درصد با تغییرات ویژگی‌های مورفومتری در هر خوشه است. کمترین میزان دبی آب چاه‌های مربوط به مخروط افکنه‌های موجود در خوشه اول بوده (۱۰/۴ لیتر بر ثانیه) که با توجه به خصوصیات مورفومتری بیان شده می‌توان گفت شیب زیاد و همچنین مساحت و طول کم این مخروط‌ها یکی از عوامل آبدهی پایین این خوشه می‌باشد. همچنین بیشترین میزان دبی آب چاه در مخروط افکنه‌های خوشه دوم با میزان ۱۸ لیتر بر ثانیه مشاهده می‌شود که از نظر مساحت، طول قاعده، طول، حجم و شعاع دارای میانگین متوسط نسبت به خوشه اول و سوم است (جدول ۶). لازم به ذکر است که پارامترهای هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی به دلیل وجود فرض صفر و عدم اختلاف محسوس در میانگین خوشه‌ها نسبت به هم دارای معناداری نمی‌باشند.

جدول ۶- آزمون معناداری وضعیت تغییرات آب زیرزمینی برحسب طبقه‌بندی خوشه‌ای مخروط افکنه

Table 6- Significance test of groundwater changes according to classification of alluvial fan

پارامترهای پتانسیل آب زیرزمینی Groundwater potential parameters	خوشه Cluster	F	معنی دارای Sig	میانگین mean	کمینه Minimum	بیشینه Maximum
کمینه عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی- متر Minimum water table depth(m)	1	2.74	0.088	45	14.7	87.4
	2			36	17.7	50.3
	3			25	16.4	34
بیشینه سطح ایستابی آب زیرزمینی-متر maximum water table depth(m)	1	1.39	0.27	66	48.2	111
	2			70	56.9	104
	3			85	61.3	128.5
میانگین عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی mean water table depth(m)	1	0.41	0.66	59	39.2	105.4
	2			54	36.8	68.5
	3			51	37.1	68.6
انحراف معیار تغییرات سطح ایستابی standard deviation of the changes in the water table	1	0.16	0.84	5.6	2.2	12.7
	2			6.3	2.3	10.3
	3			5.7	3.85	7.19
دبی آب چاه- لیتر / ثانیه DBI(L/S)	1	3.48	0.05	10	1.3	26.5
	2			18	6.5	34.5
	3			15	7.3	30.5
هدایت الکتریکی-میکروموهس/ سانتی‌متر EC (µ mho/cm)	1	0.65	0.52	826	588	1336
	2			787	641	1101
	3			966	590	1606

رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

به‌منظور سنجش میزان اثرگذاری پارامترهای مورفومتری بر پارامترهای آب زیرزمینی در ابعاد کوچک‌تر و محلی، همبستگی پارامترها به‌صورت مجزا در هر یک از مخروط افکنه‌ها موردبررسی و آنالیز قرار گرفت (جدول ۷ و ۸) بر این اساس نتایج حاصله از تحلیل آماری ۱۱ مخروط افکنه موجود در خوشه اول نشان داد که تغییرات پارامتر شیب با تغییرات دبی دارای همبستگی قوی و منفی در بین مخروط افکنه‌های خوشه اول

است. درواقع با کاهش نسبی شیب میزان دبی آب چاه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین طول قاعده مخروط‌های خوشه اول با تغییرات هدایت الکتریکی دارای همبستگی مثبت و قوی است. مخروط افکنه‌های ی که در خوشه اول طول قاعده وسیع‌تری دارند به‌تبع افزایش دبی، دارای افزایش هدایت الکتریکی نیز هستند که البته این افزایش نسبی بوده و ازنظر کیفیت در حد مطلوب (پایین‌تر از حد استاندارد ملی ۱۰۵۳) قرار دارد. همچنین بیشترین میزان عمق سطح ایستابی از سطح زمین مربوط به خوشه اول است اما ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که تغییرات سطح ایستابی و عمق آن در سه خوشه تفکیکی به‌صورت معنادار نبوده و اعداد نزدیک به هم می‌باشند و دارای یک الگوی تغییری منظم نسبت به هم نیستند؛ بنابراین می‌توان گفت شرایط محیطی غالب و حاکم در کل مخروط‌های محدوده مطالعاتی تقریباً یکسان است و آنچه بر تغییرات پتانسیل آب زیرزمینی در این مناطق اثرگذار است ویژگی داخلی در سطح هر مخروط است که در بخش‌های دیگر به آن پرداخته می‌شود.

جدول ۷-الگوی همبستگی مورفومتری با پارامترهای آب زیرزمینی

(رنگ زرد همبستگی مستقیم (D)، رنگ آبی همبستگی معکوس (R)، رنگ سفید همبستگی ضعیف)

Table 7- Morphometric correlation pattern with groundwater parameters

(yellow color direct correlation (D), blue color reverse correlation (R), white color weak correlation

مخروط مورفومتری افکنه **Morphometry of alluvial fan**	**Cluster one-خوشه اول**				**Cluster two-خوشه دوم**				**Cluster three-خوشه سوم**			
	هدایت الکتریکی **EC**	دبی چاه **DBI**	تغییرات ایستابی **Changes**	عمق ایستابی **Depth**	هدایت الکتریکی **EC**	دبی چاه **DBI**	تغییرات ایستابی **Changes**	عمق ایستابی **Depth**	هدایت الکتریکی **EC**	دبی چاه **DBI**	تغییرات ایستابی **Changes**	عمق ایستابی **Depth**
مساحت Area(m)	–	–	–	–	–	–	D	–	–	–	R	–
طول Length (m)	–	–	–	–	–	–	–	R	–	–	R	–
ارتفاع رأس Head height(m)	–	–	D	D	–	–	–	D	–	–	–	–
ارتفاع قاعده (m) Height of the Base	–	–	D	D	–	–		D	–	–	–	–
اختلاف ارتفاع (m) Height difference	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	R	–
طول قاعده Length of Base(m)	D	–	–	–	–	–	–	–	–	–	R	D
زاویه جاروب Acute Angle degree	–	–	–	R	–	–	–	–	–	–	–	–
شعاع Radius(m)	–	–	–	–	–	–	D	–	–	–	–	D
تقعر Concavity	–	–	–	D	–	–	–	–	–	–	–	–
حجم Volume (KM^3)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
شیب slope (degree)	–	R	–	–	–	–	R	–	–	–	R	R

نتایج همبستگی تغییرات سطح ایستابی با عوامل مورفومتریک خوشه اول در نواحی خشک و نیمه‌خشک غرب منطقه موردمطالعه بیانگر این است که مساحت، شعاع طول و ارتفاع رأس مخروط افکنه دارای همبستگی مثبت و قوی در حد ۹۵٪ با میانگین عمق سطح ایستابی آب است.؛ یعنی هرچقدر پارامترهای مورفومتری فوق دارای میانگین بیشتری باشد میزان عمق سطح ایستابی تاسطح زمین نیز نسبت به مخروط افکنه‌های کوچک‌تر (خوشه اول) بیشتر خواهد بود که این امر می‌تواند به دلایلی ازجمله بیشتر شدن مصرف سرانه آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌های بزرگ‌تر با جمعیت‌های بیشتر باشد. همچنین شیب مخروط افکنه‌های خوشه دوم نیز با میانگین ۴.۷ دارای همبستگی منفی و قوی با تغییرات سطح ایستابی بوده. علت این موضوع می‌تواند فعال‌تر بودن و تأثیرگذاری جریانات هیدرولیکی زیرسطحی و زهکشی بر پایداری تغییرات در سراسر مخروط افکنه

باشد، همچنین با توجه به اینکه مخروط افکنه‌های موجود در خوشه دوم دارای ویژگی‌های مورفومتری متمایزی از یکدیگر نبوده میزان تغییرات هدایت الکتریکی و دبی قابل‌برداشت از چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌های این خوشه نیز دارای همبستگی قوی با یکدیگر نیستند. این به معنا نزدیک بودن خصوصیات مورفومتری مورفومتری مخروط افکنه‌های خوشه دوم به یکدیگر است

خوشه سوم شامل ۵ مخروط افکنه بوده و مخروط افکنه‌های موجود در این خوشه تقریباً به‌صورت تکامل‌یافته و شکلی بادبزنی دارند همبستگی تغییرات سطح ایستابی با عوامل مورفومتریک خوشه سوم بیانگر این است که طول قاعده، شعاع، مخروط افکنه دارای همبستگی مثبت و قوی در حد ۹۵٪ با میانگین عمق سطح ایستاب آب زیرزمینی است. همچنین مساحت، طول، اختلاف ارتفاع و شیب مخروط دارای همبستگی منفی و قوی در حد ۹۵٪ بوده است. با توجه به اینکه مخروط‌های موجود در خوشه سوم دارای ویژگی‌های ظاهری متمایزی از یکدیگر نبوده میزان تغییرات هدایت الکتریکی و دبی قابل‌برداشت از چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌های این خوشه نیز دارای همبستگی قوی با یکدیگر نیستند. این به معنا نزدیک بودن خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه‌های خوشه سوم به یکدیگر است.

جدول ۸ - آزمون همبستگی پارامترهایب زیرزمینی با ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها برحسب خوشه‌های تفکیک‌شده

Table 8 - Correlation test of Groundwater parameters with morphometric characteristics of alluvial fans in terms of separated clusters

مورفومتری مخروط افکنه Morphometry of alluvial fan		Cluster one-خوشه اول				Cluster two-خوشه دوم				Cluster three-خوشه سوم			
		دبی چاه DBI	هدایت الکتریکی EC	عمق ایستابی depth	تغییرات ایستابی Changes	دبی چاه DBI	هدایت الکتریکی EC	عمق ایستابی depth	تغییرات ایستابی Changes	دبی چاه DBI	هدایت الکتریکی EC	عمق ایستابی depth	تغییرات ایستابی Changes
مساحت Area	همبستگی Correlation	.081	.040	-.407	-.084	.590	.127	-.054	.859	-.44	-.184	.551	-.880
	Sig معناداری	.402	.450	.107	.403	.109	.405	.455	.007	.225	.383	.168	.060
طول Length	همبستگی Correlation	.143	.312	-.318	-.100	.873	-.62	-.56	.021	-.33	-.195	.490	-.805
	Sig معناداری	.329	.162	.170	.385	.012	.095	.093	.482	.290	.377	.201	.098
ارتفاع رأس Head height	همبستگی Correlation	-.384	-.04	.877	.670	-.68	.078	.667	-.254	-.14	-.536	.604	.150
	Sig معناداری	.109	.446	0.00 1	.012	.067	.442	.051	.291	.407	.176	.140	.425
ارتفاع قاعده Height Base	همبستگی Correlation	-.305	-.10	.827	.462	-.49	.635	.813	.142	.438	-.271	-.03	.753
	Sig معناداری	.167	.378	.001	.076	.159	.088	.013	.381	.230	.330	.481	.124
اختلاف ارتفاع Height differen	همبستگی Correlation	-.211	.018	.176	.388	-.58	-.13	.515	-.293	-.62	.096	.319	-.910
	Sig معناداری	.256	.478	.302	.119	.110	.403	.118	.262	.128	.439	.301	.045
طول قاعده Length Base	همبستگی Correlation	.185	.351	-.280	-.111	.659	-.63	-.12	.338	-.55	-.313	.862	-.931
	Sig معناداری	.282	.132	.202	.372	.077	.088	.393	.229	.166	.304	.030	.034
زاویه جاروب Acute Angle	همبستگی Correlation	-.418	.483	.540	.112	-.21	.431	.414	.393	-.16	-.004	.103	.349
	Sig معناداری	.088	.05	.043	.371	.342	.196	.178	.192	.394	.498	.435	.326
شعاع Radius	همبستگی Correlation	.207	.032	-.205	-.061	.684	-.17	-.19	.717	-.43	-.310	.782	-.361
	Sig معناداری	.260	.461	.273	.429	.067	.371	.340	.035	.235	.306	.059	.319
تقعر Concavity	همبستگی Correlation	.205	-.29	-.484	-.095	-.59	.172	.132	-.452	-.08	-.114	.193	-.606
	Sig معناداری	.261	.172	.066	.390	.107	.372	.389	.155	.444	.428	.378	.197
حجم Volume	همبستگی Correlation	-.096	.069	-.096	-.018	.009	-.23	.400	.259	-.48	-.213	.570	-.122
	Sig معناداری	.383	.416	.390	.479	.493	.326	.187	.287	.206	.365	.158	.439
شیب slope	همبستگی Correlation	.477	-.45	-.161	.225	-.00	-.58	-.43	-.621	.395	.465	-.93	.818
	Sig معناداری	.05	.068	.318	.253	.494	.111	.165	.068	.255	.215	.011	.091

رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

۴-نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از شاخصه‌های مهم در توسعه محیط به شمار می‌آید و برنامه ریزان سرزمین توجه زیادی به شناسایی وضعیت کمی و کیفی این منابع دارند. به‌منظور مدیریت این منابع نیاز به شناسایی عوامل مؤثر بر آن بوده که در سال‌های اخیر توجه به لند فرم‌ها به‌عنوان یک عامل مؤثر بر نفوذپذیری و تغییرات آب‌های زیرزمینی از ارزش ویژه‌تری برخوردار گردیده است. یکی از لند فرم‌های مهم ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مخروط افکنه‌ها می‌باشند که برحسب ساختار خود، محیط بسیار مناسبی را برای ذخیره‌سازی آب زیرزمینی فراهم می‌آورد؛ بنابراین در این ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه در دشت‌های جنوبی البرز مرکزی (کرج تا تاکستان) موردبررسی قرار گرفت و میزان تأثیرگذاری این ویژگی‌ها بر دبی قابل‌برداشت از چاه، میزان هدایت الکتریکی، تغییرات و عمق سطح ایستابی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش میانگین مساحت، طول مخروط طول قاعده و شعاع مخروط افکنه میزان دبی قابل‌برداشت آب زیرزمینی نیز افزایش‌یافته و با کاهش مقادیر پارامترهای مورفومتری ارتفاع رأس، زاویه جاروب، ارتفاع قاعده میزان دبی افزایش می‌یابد. یافته‌ها نشان داد در مخروط افکنه‌های ی که ارتفاع رأس و قاعده بیشتر از سایر مخروط افکنه‌ها است سطح ایستابی نیز به دلیل افزایش رسوب‌گذاری و ضخامت رسوب پایین‌تر از سطح زمین است. همچنین مشخص گردید که عمق سطح ایستابی با افزایش مساحت، طول، طول قاعده و شعاع مخروط افکنه‌ها به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود. با بررسی خوشه‌های مورفومتری تفکیک‌شده مشخص گردید که بیشترین میزان دبی آب چاه‌ها مربوط به خوشه دوم است. این خوشه ازنظر مکانی در کل منطقه پراکندگی دارد؛ اما در غرب محدوده مطالعاتی دارای تراکم بیشتری است. مخروط افکنه‌های این خوشه نسبت به مخروط افکنه‌های موجود در خوشه اول و سوم ازنظر مساحت، اختلاف ارتفاع، شعاع، طول قاعده و طول مخروط دارای ابعاد متوسط است و زاویه جاروب در این مخروط‌ها کمترین میانگین را نسبت به خوشه اول و سوم دارد. همچنین بیشترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به مخروط افکنه‌های موجود در خوشه سوم و کمترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به خوشه دوم بوده که آبدهی مناسبی نیز دارد.

به‌منظور تعیین نقش پارامترهای مورفومتری در داخل هر خوشه، میزان همبستگی پارامترهای مورفومتری با پارامترهای آب زیرزمینی مخروط افکنه‌ها سنجیده شد. نتایج نشان داد در مخروط افکنه‌های موجود در خوشه اول (که دارای کمترین میزان آبدهی نسبت به دو خوشه دیگر) با افزایش میزان شیب، میزان دبی چاه افزایش می‌یابد. به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد خصوصیات ظاهری مخروط افکنه‌ها و

تفاوت در ویژگی‌های مورفومتری آن‌ها می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمین مورداستفاده قرار گیرد درواقع نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مطالعه بر روی لند فرم‌های ژئومورفیک پیش از انجام طرح‌های اجرایی می‌تواند سبب کاهش خطا در تعیین مکان مناسب جهت تغذیه آبخوان یا حفر چاه آب زیرزمینی شود. همچنین ازنظر کاربردی نیز استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی برخلاف روش‌های مرسوم شناسایی منابع آب زیرزمینی نظیر ژئوالکتریک ازنظر زمانی و مالی به‌صرفه بوده و دارای پوشش مکانی وسیع‌تر و بدون نیاز به عملیات میدانی یا صحرایی است.

اکثر تحقیقات انجام‌شده درزمینه‌ی پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی به فرم و شاخص‌های مورفومتری مخروط افکنه به‌عنوان یک شاهد مجزا نگاه نمی‌کند بلکه این لند فرم را به‌عنوان یک عامل اثرگذار یا وزنی در کنار سایر عوامل در نظر گرفته یا تنها یک شاخص از آن را موردبررسی قرار می‌دهند؛ به‌عنوان‌مثال داس در پژوهش خود نقش پارامترهای ژئومورفیک نظیر مخروط افکنه‌ها، دشت سیلابی و ... را به‌عنوان یک عامل در کنار هشت پارامتر محیطی دیگر در تأثیرگذاری بر پتانسیل آب زیرزمین موردبررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که استفاده از شاخص‌های جغرافیایی در کنار مدل‌های سلسله مراتبی تا ۷۵ درصد دقت در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد (Das, 2019). همچنین حمدانی و بالی تأثیر پارامتر ارتفاع نزدیک‌ترین زهکش را به‌عنوان یک شاخص در شناسایی پتانسیل آب زیرزمینی موردبررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان یک متغیر مستقل در پتانسیل‌یابی و تشخیص بهتر منابع آب زیرزمینی از دقت مناسبی برخوردار است (Hamdani & Baali, 2019)؛ بنابراین می‌توان گفت اگرچه تاکنون در مطالعات متعدد تأثیر لندفرم های ژئومورفیک و به‌خصوص مخروط افکنه‌ها بر آب‌های زیرزمینی مورد تأکید قرارگرفته است، ولی مطالعه جامع و دقیقی در رابطه با نقش شاخص‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها بر آب‌های زیرزمینی و طبقه‌بندی مخروط افکنه‌ها انجام نگرفته است. بااین‌حال تحقیق حاضر با رویکرد نوین و مطالعات آماری قوی توانست الگوی جدید در حوزه نقش ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها در تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی ارائه دهد و رهیافت کارآمد و مؤثری را در راستای شناسایی پتانسیل سفره‌های آب زیرزمینی ایجاد نماید.

References

Adabi khosh, S. J. (2019). *Exploring underground structures and aquifers through the penetrating gaze of remote sensing*. Narvan Danesh Publications. [In Persian]

Afshari, A., Ghohroudi Tali, M., Sadough, S. H., & Ehteshami Moin Abadi, M. (2019). Application of Morphotectonic Indices in Landslide Hazard Evaluation of Lorestan Railway. *Environmental Management Hazards*, *6*(1), 51-66. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jhsci.2019.272472.425

Agarwal, E., Agarwal, R., Garg, R. D., & Garg, P. K. (2013). Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of Earth System Science*, *122*, 887-898. https://doi.org/10.1007/s12040-013-0309-8

Alaei Taleghani, M., Shafiei, N., & Rajabi, M. (2018). The Effect of Geomorphologic Factors on Feeding Underground Water Resources in Kermanshah Meyandareh Plain. *Hydrogeomorphology*, *4*(13), 21-41. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1396.4.13.2.7

Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Merabtene, T., Siddique, M., Khalil, M. A., Idris, A., & Almulla, E. (2019). Potential groundwater zone mapping based on geo-hydrological considerations and multi-criteria spatial analysis: North UAE. *Catena*, *173*, 511-524. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.037

Asadi, M., & Abd Manafi, N. (2022). *The worsening crisis of groundwater resources and the need to manage consumption*. Islamic Parliament Research Center Of IRAN. [In Persian] https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1750973

Blair, T. C., & McPherson, J. G. (2009). Processes and Forms of Alluvial Fans. In Parsons, A. J., Abrahams, A. D. (eds), *Geomorphology of Desert Environments*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_14

Das, S. (2019). Comparison among influencing factor, frequency ratio, and analytical hierarchy process techniques for groundwater potential zonation in Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Groundwater for Sustainable Development*, *8*, 617-629. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.03.003

Ghahraman, K., Zanganeh Asadi, M. A., & Akbari, E. (2022). Quantitative Comparison of Morphometric Indices and Alluvial Fan Toes in Arid Regions with Emphasis on Central Iran. *Physical Geography Research*, 54(2), 243-256. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jphgr.2022.339882.1007683

Ghahroudi Tali, M., Khodamoradi, F., & Ali Nouri, K. (2023). Effects of groundwater decrease on the of land subsidence in Dehgolan plain, Kurdistan province. *Environmental Management Hazards*, *10*(1), 57-70. [In Persian] https://jhsci.ut.ac.ir/article_92866.html?

Hamdani, N., & Baali, A. (2019). Height Above Nearest Drainage (HAND) model coupled with lineament mapping for delineating groundwater potential areas (GPA). *Groundwater for Sustainable Development*, *9*, 100256. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100256

Hatefi Ardakani, A., & Ekhtesasi, M. (2016). Groundwater potentiality through Analytic Hierarchy Process (AHP) using remote sensing and Geographic Information System (GIS). *Geopersia*, *6*(1), 75-88. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jgeope.2016.57823

Hekmatnia, H., & Mousavi, M. (2006). *Model application in Geography with emphasis on Urban and Regional Planning*. Yazd: Elme Novin press. [In Persian]

Iran Meteorological Organization. (2023). Statistical report of synoptic stations. [In Persian] https://data.irimo.ir/

Khalili Naftchali, A., & Khashai, A. (2016). *Familiarization with water finding methods*. Paper presented of the Second National Congress of Drainage Irrigation of Iran, Isfahan University of Technology. [In Persian] https://civilica.com/doc/555089/

Khamis Abadi, S., Manshori, M., Sayadi, M., & Salari, M. (2012). Valuation potential of water quality in occurrence of sedimentation and corrosion in drinking water facilities in Goybolagh village, Malard city. *Journal of Environment Geology*, *6*(21), 83-102. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_524825.html

Mehr News Agency. (2022). *Report: Water is the most important crisis facing the Qazvin plain*. [Web log comment]. Retrieved 2022, Oct. 10 from https://www.mehrnews.com/news/5604171 [In Persian]

Nayebzadeh, F., Madadi, A., & Azizi, G. (2018). Quaternary Geo-morphological Evidence of Qazvin and Eshtehard Plains. *Quaternary Journal of Iran*, *3*(4), 331-346. [In Persian] https://doi.org/10.22034/irqua.2018.701919

Rajabi Eslami, A. (2018). *Variation of Groundwater Quality and Quantity under Lsnd Use and Formation(A case study: Malard Counyt).* Master's Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran. [In Persian]

Rajabi Eslami, A., Ghahroudi Tali, M., & Salehipour Milani, A. (2024). The Influence of Geomorphic Parameters of Alluvial fan on Groundwater variation (case study: east and center of Gilan province). *Quantitative Geomorphological Research*, *12*(4), 108-127. [In Persian] https://www.geomorphologyjournal.ir/article_187626.html

Ravindran, K. V., & Jeyaram, A. (1997). Groundwater prospects of Shahbad tehsil, Baran district, Eastern Rajasthan: a remote sensing approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *25*, 239-246. https://doi.org/10.1007/BF03019365

Sedghi, M. M., & Samani, N. (2015). *Analysis of hydraulic behavior of alluvial fan aquifers*. Paper presented of the First Iranian National Congress of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]

Shariat Panah, S. T., & Ranjbari, R. (2005). *Self-study of SPSS basics*. Ghazal Javan Publications. [In Persian]

Wadi, D., Wu, W., Malik, I., Fuad, A., & Thaw, M. M. (2022). Assessment and feasibility of the potential artificial groundwater recharge in semi-arid crystalline rocks context, Biteira district, Sudan. *Scientific African*, *17*, e01298. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01298

Yari, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., & Ghasemi, M. (2019). Investigation of the Effect of to Land Use Changes on Flood Hydrograph and Fluctuations of Groundwater Level in Part of Ghareh Souh Basin. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *8*(3), 41-58. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v8i3.80976

Zektser, L. S., & Everett, L. G. (2004). *Groundwater resources of the world and their use*. UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433